

城镇燃气输配管网的安全风险评估与应急调度研究

戎芸茜（山东港华燃气集团有限公司，山东 济南 250000）

摘要：随着城市化的快速发展，城镇燃气输配管网作为城市基础设施的重要组成部分，在维护城市正常运营中扮演着关键角色。但燃气输配系统的安全风险不断增加，如管道老化、自然灾害、人为破坏等因素均可能对城市的能源供应和人民的的生活安全造成严重威胁。为了确保供燃系统的安全稳定运行，本研究围绕城镇燃气输配管网的安全风险评估及应急调度进行了深入分析，并提出了相应的评估对策与应急调度对策，以便为相关人员提供借鉴。

关键词：城镇燃气输配管网；安全风险评估；应急调度

0 引言

在现代城镇化背景下，燃气输配管网是确保城市能源供应连续性和安全性的关键因子。随着气体能源消费量的增长，管网的运行安全和应急调度能力受到了前所未有的关注。安全风险评估与应急调度研究对于提高系统的可靠性、降低安全事故发生率以及优化资源配置至关重要。

1 城镇燃气输配系统

城市天然气输配网络的构成通常涵盖以下部分：调压站、管道网络、储存设施、海拔压力调整装置、行政管理办公室及监控系统等环节。在设计时，城市天然气的供应网需和城市发展规划密切协调，并依据详尽的可行性研讨进行筹划，融合长期及近期的需求，以短期需求作为关键考量点。方案制定需针对技术性能与财务效益进行综合比较，确保选定策略的合理性。选择城市天然气输送系统的压力层次时，需对诸如调压站、储存站和传输主管道的布局进行细致的规划。在此过程中，燃气源头、用户需求量与分布图、自然地形条件、管道及设备的供应情况、以及建设与运营的实际状况等因素，均须纳入综合考量之中^[1]。通过比较不同的方案，以挑选出在技术上最为稳准、安全性最高的方案。

对于天然气主输管道的部署，考虑应基于用户的需要数量和具体分布，形成环状管网的规模拓展规划。依托天然气作为主要能源，以保证供气的连续性和均衡性，需要供应商积极进行调度配合，确保城市用气的平稳供应。城市燃气管网以天然气管网为主，燃气管网按压力等级划分：低压压力小于 0.01MPa，中压压力大于等于 0.01MPa 小于等于 0.4MPa，次高压大于 0.4MPa 小于等于 1.6MPa，高压大于 1.6MPa 小于等于 4.0MPa。

2 城镇燃气输配管网的安全风险评估

2.1 燃气管道设施的风险因素分析

2.1.1 钢管类燃气管道的风险分析

天然气输送管道在天然气管道中得到了广泛的应用。天然气钢管分为有缝和无缝管两种，其焊接接头的防腐质量很难控制，在长时间的使用条件下，涂层极易老化破损，焊缝极易产生沟状腐蚀。在使用中，由于外力的作用，钢管的防腐涂层会受到损伤而产生损伤。在这种情况下，天然气管道的内部和外部都有可能发生腐蚀。天然气管线的敷设有空中和地下两种。地下管线容易受到化学或电化学腐蚀的影响，尤其是在地铁、高铁、电力线接地体等靠近天然气管线的地方，如地铁、高铁、电力线接地体等，也有可能出现杂散电流腐蚀，高压管线弯头也可能出现应力腐蚀。随着燃气管道中气体压力的增加、燃气管道的服役年限的增加，管线的运行风险也随之增加。

2.1.2 PE 管类燃气管道的风险分析

天然气 PE 钢管质量轻，密封性好，耐腐蚀，寿命长，但其材料较软，受力后易断裂。使用年限不超过 5 年的 PE 管线，是 PE 管线使用寿命最好的时期，也是最平稳的时候；使用年限 12 年或更长的聚乙烯管材，均已进入疲劳寿命。随着管道中气体压力的增加和燃气管道的使用年限的增加，PE 管道的运行风险也会随之增加。PE 管是一种对外界温度比较敏感的管材，其受周边供暖管道的影响较大^[2]。PE 管道的钢塑法兰对气体聚乙烯管道的安全性有很大的影响。早些年生产的钢塑法兰多为直埋敷设，受外力挤压、热胀冷缩等因素作用，易发生渗漏，对管网的安全运行构成极大威胁。

2.1.3 燃气调压设施的风险因素分析

调压设备主要是指起到调节压力作用的调压器。

调压器一般设置在门站、调压站、分区管网不同压力节点以及用户端。调压器的主要零部件如壳体、膜片、弹簧和主阀的质量直接关系到整个系统的安全运行。调压器的关键零部件的好坏直接关系到其工作的安全，当调压器失效时，将产生超压，从而导致事故发生。国产调压器的零件品质普遍比进口的差，而进口调压器是一种免维修的装置，在使用过程中几乎不需要进行任何的维修。按布置在管网中的位置，将其分为分区式和楼宇式两种。分区调压装置所联接的对象为大小区或工业锅炉等用户，可基本稳定运行。楼宇调压器服务的对象大多为住宅用户，往往存在调压动作，且非稳态运行。

随着工作时间的推移，零件会逐渐老化，在工作过程中发生的故障也会越来越多，因此，必须要进行定期的维修和保养，通常要用上十年才能换一次。调压器的重要程度主要是看其发生故障后对其所服务的客户的影响大小，视客户的种类而定，普通大众公用事业客户的调压器更是举足轻重，因此，对于锅炉用户来说，调压器是非常重要的。

2.1.4 燃气管道阀门设施的风险因素分析

在天然气输送系统中，阀门的主要功能是切断气流，以便于管道的修理和流量调节。所以阀门必须被精心地布置于管网的关键交点上。面对高压以及中压输气管道的挑战，阀门的设计必须要能够承受这些高作业压力，这也就意味着转轴部件需要有足够的韧性，而且阀门的密封系统必须完善无缝，确保不会出现任何泄漏。

更重要的是，阀门材质需具备顶级的抗蚀性。要想持续保证这种安全与效率的平衡，需要定期对阀门进行检测，确保其保持优越的性能标准，包括高度的强度、敏感度和快速响应的能力。为了更好的保护，安置在地下的管道阀门通常会位于特制的阀室之内。这些阀室不仅能够为阀门提供结实的物理保护，还必须具备出色的防水功能，并且在设计上预留足够的空间，以便于后续的维护工作。

2.2 城镇燃气输配管网的安全风险评估

安全评估的主要步骤有：准备阶段，重大危险源识别，安全评估等。

2.2.1 预备阶段

第一步要先明确评估的具体目的和所涉及的范围，随后系统地搜集相关的立法、规章、准则以及技术工程和系统方面的技术资料。

2.2.2 重大危险源辨识

目前，识别关键危险源时通常采取定性的评估方式，这包括应用故障树分析法、采用安全核查清单、征询专家意见以及开展假设失效分析等技术手段。在完成对低级事件的结构重要性评估后，对这些事件进行进一步的重要性评估，把位于最小一级割集中的低级事件定位为主要的风险源^[3]。

2.2.3 安全性评价

评估过程开始于对燃气管道安全性评估区域的划分。具体而言，应依据如阀门配置、压力等级、相邻建筑物类型与重要性、居住人口密集度等要素对管道系统进行分级。对于天然气输送管道来说，通常结合运用定性和定量分析，采纳多方面分析手段以进行全面的鉴定。

采用定性研究技术和流程：

①通过采用一系列的分析技巧，如事件树分析法、定性分析、安全审查清单、行家评估、假设测试、危害评估和操作研究来详细研究潜在事故。利用研讨会和问卷调研的方式，征询对设计、施工、操作与维护有深入了解的专业人士的看法，构建以“如何应对各种假设性故障？”为前提的问题集，以揭示潜在的安全风险，帮助辨析事故事件的根源。结合专业意见与各方反馈，对影响管道安全性的多种要素进行剖析，列出管道安全事故树中较基础的事件，并识别风险。识别风险的方法包括进行咨询、对话、检查相关记录、实地考察、获取外部数据、分析任务本身、安全审核清单、HAZOP 研究、事件树分析以及失效树分析等；

②结构重要性分析方面，研究时应正确评估每个事件在总体结构中的相对重要性。最小割集用来初步判断事件在结构上的重要程度，这是在假设割集中所有基本事件均发生情况下，最终顶层事件会发生的条件，反之则不会；

③建立在历史数据之上，运用数学统计方法和专家访谈等技术，确认各项指标的权重。专家调查法涉及择定数量的行家组成评价团队，评价人员将评价内容描述清晰，通过匿名提问对事件背景进行评估，并基于行家们自身经验对事件背景的重要性给予判断，再利用加权和频率统计的方式为背景事件分配权重；

④创建基准评价模型，以五个分类因素——第三方损害、腐蚀、设计缺陷、不当操作、管道材料与施工不良和地理环境及其他变量——每个占据 20% 的权重系数为基础，在进行上述第③部分的权重计算后，

构建基准的安全评价模型。

3 城镇燃气输配管网的应急调度

3.1 合理制定用气计划稳定气源调度

为确立有效的天然气使用策略，必须在公司的所有相关部门、分支机构和子公司之间建立良好的合作机制。基于仔细的研究，掌握用气规律，进而拟定一个合理且精确的燃气使用方案。企业需要收集居民户数数据和年度气体消耗总量，包括每季度和每月的气体消耗均值，特别是对于供热不足区域冬季居民增加的用气量进行记录。

分析显示，在极端寒冷天气下，家用壁挂炉的使用量大幅上升，给当日的气源稳定输送带来较大影响。公司需密切监控供热厂的用气情况，因为它们主要负责集中供暖，消耗大量燃气，尤其是在冬季。进一步还需了解关键客户的用气模式，并与关键客户负责人沟通，以保证这些重点用户能提前上报他们一年内的用气需求和高峰期的集中用气状况，为城市天然气供应的计划提供依据。

企业还须对未来一年内潜在增加的用户群体（例如居民和工业客户）进行准确预测，并据此对新增用气量进行估算。面对目前的形势特别是疫情导致的用气量下降，应实际考虑情况，科学规划用气计划。所有分公司和子公司也需要明确自身在本年度的附加用气需求和购买量，并向调度中心报备，调度中心将根据各分支的消费增长问题调整年度、季度和每月的用气安排，以保障企业运作不受干扰。为预防供应商突发事件、紧急设备维修或检修导致的燃气短缺，公司应采纳多样化的供气策略。目前，大部分地区主要依赖于中国石油和中国石化供应商，面对冬季用气量的激增，应与中海、液化天然气等伙伴紧密合作，做出合理的燃气调配，确保城市燃气的供应既安全又可靠。

3.2 SCADA 系统在燃气输配调度运行中的应用

调度系统、站点管理系统和通讯网络构成了该系统的三大核心部分。配电调度中心配有大型显示屏、UPS 不间断电源系统和 SCADA 操作平台等关键设备^[4]。电力监控中心作为维护企业日常运作的关键枢纽，负责生产指挥和调度工作。日常工作中，调度中心负责实时、准确地收集和分析各个门站、调压站以及下属大用户和子公司的部分运营数据。同时监控城市区域内的最低压力水平，确保供应区域内的最低压力满足管道系统的要求，同时跟踪中压管网运营的关键参数，并对管网运营的压力和瞬时流量进行调整，以应

对高峰期用气需求。调度员密切审阅统计报告，根据前一日的实际消耗量来预测当日用气量，并对气源输送和计划变动进行系统的调整和管控。基于管道存储量、实际用气情况和大型用户瞬时有气量的变化，为下一日的供应计划提供数据支持，以确保燃气网络的安全、平稳运作。站点管理系统控制器的职能包括：通过调压器控制各级管道的进出口压力，并利用电动执行装置来控制门站和调压站的阀门开闭。在高峰时段，通过调整阀门开度来对无人值守站点的阀门进行实时开闭控制，实现远程管控运行压力。站点控制系统精准操控各门站和调压站，确保管线系统高效运作，从而降低公司运营成本，减少人力资源和时间投入，保障中高压管网的安全与平稳，是 SCADA 系统中必不可少的组成部分，有效实现场站监控。通讯网络分为有线和无线两种。有线网络当前常见的技术包括专线 APN、VPN 等，这些技术成本低、搭建迅速，但在非市区地带可能受限制。而光纤通信则适用于城市和非市区，具备高效的传输速率，不过运行费用和投资成本较高。在无线技术中，无线数传电台、卫星网络、GPRS/CDMA 等各有特点，无线数传电台具备独特性，但传输速度一般且成本较高，并可能受到气候和地理环境的影响^[5]。

4 结语

总之，合理的风险评估模型和有效的应急响应机制对于保障燃气输配系统的安全至关重要，相关管理机构和企业应持续关注 and 更新燃气管网的安全风险评估，并不断完善应急调度计划和培训体系，以强化城市燃气输配网络的安全运行能力。

参考文献：

- [1] 唐晓杰. 人员因素对燃气输配管网停气降压的影响 [J]. 上海煤气, 2022(06):33-35.
- [2] 王莹. 城镇燃气输配管网的基础建设 [J]. 化工设计通讯, 2021, 47(12):15-16+23.
- [3] 沈志坚, 郝文菁, 吉艳琴. 浅谈城镇燃气输配管网不停输法兰绝缘改造 [J]. 当代化工研究, 2020(13):62-63.
- [4] 李远, 刘成, 高远. 浅析城市燃气输配管网现状及优化研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(19):106-107.
- [5] 宋凯. 涪县城镇燃气管网中长期规划研究 [D]. 南充: 西南石油大学, 2019.